

既有建筑照明功率密度检测与能效提升

杨亚琨

广州建设工程质量安全检测中心有限公司 广东广州 510000

摘要: 照明功率密度 (LPD) 是衡量既有建筑照明系统能效的关键指标, 定义为房间或场所单位面积照明安装功率 (包含光源、镇流器及变压器功耗), 单位为瓦/平方米 (W/m^2), 计算式为 $LPD = \Sigma P/S$ 。该指标直接影响能源消耗, 低LPD值可减少无效能耗和碳排放, 提升照明质量与舒适度。

关键词: 既有; 建筑照明; 功率密度检测; 能效提升

既有建筑照明功率密度 (LPD) 检测方法与标准需严格遵循国家及地方规范, 综合应用检测与提升策略, 可显著降低既有建筑能耗, 支持绿色建筑发展目标。

一、既有建筑照明功率密度检测方法与标准

1. 检测方法

测量仪器, 使用光电池式照度计 (精度需达二级以上), 辅以功率计、光谱辐射计等设备测量照度、功率及光谱参数, 测量前需校准仪器符合JJG245-81标准。电压波动需实时监测, 偏差超限时对结果修正。现场条件, 光源预热要求: 白炽灯/卤钨灯累计燃点 ≥ 50 小时且点亮 ≥ 15 分钟; 气体放电灯累计燃点 ≥ 100 小时且点燃 ≥ 40 分钟。排除天然光、杂散光干扰, 确保环境干燥清洁。测点布置, 网格法: 普通房间按2-4m间距划网格 (小房间取1m), 网格边距墙面0.5-1m; 走廊按中心线1-2m间隔布点。参考平面: 常规场所取0.75m水平面 (如办公室、教室), 局部照明按需求高度设定。测量流程, 分区域测量照度与功率, 单点多次读数取均值。计算平均照度与设计值偏差 (现行标准允许+20%偏差), 核算 $LPD = \Sigma P/S$ (总功率/面积)。

2. 核心标准体系

国家标准, GB 50034系列: 2013版强制限定七类建筑108项场所LPD值 (如普通办公室 $\leq 9W/m^2$)。2024修订版 (GB/T 50034-2024) 升级为推荐性标准, 新增健康照明、智能控制要求, LPD目标值比现行值严20%。GB/T 5700-2023: 规定照明测量方法, 替代2008版, 补充LED/智能照明检测流程, 要求光谱辐射计等新型设备。节能监测规范, TC20《照明工程节能监测方法》: 分层评估系统能效、设备性能及改造潜力, 明确12项必测参数 (含LPD、功率因数)。地方配套: 如南京DB 3201/

T 1211—2024细化节能量核定程序。合规判定, 实测 $LPD \leq GB 50034$ 限值为核心要求, 装饰性灯具按50%功率计入计算。室形指数 ≤ 1 时, LPD限值可放宽20%。

3. 实施要点

改造衔接: 既有建筑改造需同步满足GB 55015 (强制节能标准) 与GB/T 50034-2024目标值。误差控制: 平均照度实测值与标准值偏差超过+20%判定不合格。

二、照明功率密度LPD定义

1. 概念定义

LPD指单位面积上照明系统的总安装功率, 包含光源本身及其附属电器设备 (如镇流器、变压器) 的功耗。计算公式为:

$$LPD = \Sigma P/S$$

式中: ΣP : 照明系统总功率 (单位: 瓦, W), 包含光源额定功率 (PL) 与配套镇流器/变压器功耗 (PB); S: 房间或场所的面积 (单位: 平方米, m^2)。

2. 核心特征

强制性节能指标: 除居住建筑外, 我国标准将LPD作为强制性能效评价指标, 直接约束办公、商业等六类建筑的照明设计; 动态关联性: 其取值与空间照度、光源光效及灯具利用系数密切相关; 计算范围: 装饰性灯具按50%功率计入总量, 室形指数 ≤ 1 时LPD限值允许放宽20%。

三、提高照明功率密度检测准确性的方法

校准测量仪器: 定期使用标准光源进行校准, 包括清洁探测口与光纤端面、预热光源至稳定状态、执行零点校准消除暗电流误差、量程校准调整功率计读数、以及线性度校准验证误差范围, 确保仪器误差控制在允许值内。控制环境条件: 测量时确保环境温度稳定在

20 ± 5℃ (光电池漂移受温度影响)、湿度低于85%RH, 并排除天然光、杂散光及静电干扰, 避免气泡或震动导致数据偏差。规范操作流程: 采用网格法布置测点(如房间按2-4m间距、走廊沿中心线布点), 多次读数取均值; 轻拿轻放设备, 每次测量前归零, 样品需充分研磨或均匀切割, 消除水分等干扰因素。选用高精度设备: 优先使用二级以上精度的光电池式照度计、三相相位伏安表或电能质量分析仪测量功率, 并确保波长设置与光源一致, 降低系统误差。优化数据处理: 通过多次重复测量计算平均值, 减少随机误差; 绘制功率-面积曲线验证线性度, 确保LPD核算公式(LPD=ΣP/S)的可靠性。遵守标准限值: 严格依据GB 50034系列等标准限定LPD值, 同时检测附加参数如照度均匀度、反射比和眩光, 以交叉验证测量结果的合规性。

四、影响照明功率密度的因素

1. 技术参数与硬件性能

光源光效, LED芯片光通量输出效率(如160lm/W)直接影响功率需求, 高光效光源可降低相同照度下的安装功率。COB光源通过优化芯片厚度与固晶胶层, 将功率密度从0.4W/mm²提升至0.5W/mm², 热阻降低13.6%。散热设计水平, 过高的功率密度易导致胶面发黑、芯片失效。散热器翅片积尘会使散热效率衰减>50%, 需定期清洁维持热管理效能。

2. 光学设计与空间管理

照明利用系数, 分区照明策略(如混合照明取代全域照明)可减少无效照明区域, 通过局部补光降低整体LPD。显色指数>95的灯具减少补光需求, 间接优化功率密度。自然光协同能力, 窗边区域配置照度传感器动态调光, 降低人工光源依赖, 使LPD实际值低于设计限值30%。

3. 材料与结构特性

封装可靠性, 固晶胶厚度偏差0.1mm可使热阻增加58%, 导致功率密度受限; 优化后热传导效率提升, 支持更高功率密度运行。芯片耐受阈值, 芯片厚度差异直接影响热阻分布(如1mm比2mm厚度芯片热阻高17%), 制约单位面积功率承载上限。

4. 标准规范与政策约束

强制性LPD限值, 《建筑照明设计标准》(GB50034-2013)对7类建筑108项场所设定LPD上限, 2013版较2004版民用建筑限值降低19.2%。动态调整机制, 实际照度偏离标准时, LPD值需按比例修正(如照度提高

20%, LPD限值同步放宽)。功率密度本质是“光效-热管理-空间利用”的平衡结果, 突破瓶颈需同步优化芯片材料、散热结构及智能控制策略。

五、照明功率密度检测步骤与流程

1. 检测前准备

设备与条件校准, 使用二级以上精度的光电池式照度计(硒/硅光电池)和功率计, 测量前需按JJG245-81标准校准仪器。光源预热要求: 白炽灯/卤钨灯累计燃点≥50h且点亮15min以上; 气体放电灯累计燃点≥100h且点燃40min以上。环境控制: 排除天然光干扰, 确保电压稳定在额定值(偏差超限时需修正数据), 避免杂散光遮挡接收器。测点规划, 采用网格法布点: 常规房间按2-4m正方形网格划分, 网格边线距墙面0.5-1m; 狭窄区域(走廊、楼梯)沿中心线每1-2m设测点。参考平面高度: 无特殊要求时, 默认距地0.75m水平面(如办公桌)或按功能定制(如黑板面)。

2. 现场测量操作

功率数据采集, 测量照明系统总安装功率(含光源、镇流器/变压器功耗), 使用功率计记录各回路实时输入功率。局部照明区域需单独测量代表性点位。照度测量流程, 照度计从大量程逐步调节至合适档位, 单点稳定后读数, 避免人影遮挡仪器。每测点读取2-3次数据取算术平均值, 确保结果可靠性。面积核算, 精确测量被测房间净面积(单位: m²), 扣除固定家具及设备占地面积。

六、既有建筑照明能效提升策略

1. 节能灯具更换对能效提升的影响

显著降低能耗与碳排放, 直接节电效果, LED灯具光效达140-160lm/W, 远超白炽灯(16lm/W)和荧光灯(70lm/W), 同等亮度下耗电量减少80%以上。实际案例显示: 工业车间替换高耗能照明后, 节电率超50%, 年省电费显著; 城市路灯改造中, 1000盏LED灯年节电87.6万度, 减少电费70万元。间接减少热负荷, LED灯具无红外辐射热损耗, 降低夏季空调制冷能耗10-15%, 形成“二次节能”效应。全局减碳贡献, 全球照明用电占电力消耗15%, 全面推广LED可减少照明领域40%用电量, 相当于年减碳5.7亿吨。综合性能与经济效益提升, 长寿命降低维护成本, LED寿命达5万小时(白炽灯仅1000小时), 减少更换频率及人工维护费用。某商场采用智能控制后, 灯具维修成本降低80%。光品质优化体验, 显色指数>97, 高度还原物体真实色彩, 提升

视觉舒适度；有害蓝光比太阳光减少60%，护眼效果显著。推动智能化与政策落地，兼容智能控制系统，LED可无缝接入光感联动、定时分区调光等系统，实现“按需照明”。

2. 智能照明系统如何提升能效

智能照明系统通过智能化控制与技术创新实现能效跃升，精细化能耗控制，场景化自动调光，基于自然光照强度与人居活动动态调节亮度：教室部署照度传感器，阴天自动补光至500lux，晴天仅启用30%灯具；车库雷达感应灯人车经过时为15W，无动态时降至3W。分区分时策略，办公区工位扫码联动照明，人离场10秒自动关灯；校园路灯分时段降功率运行，夜间12点后亮度减半。硬件升级与系统优化，LED光源高效替代，160lm/W高光效LED灯具取代传统光源，直接节电80%；消除红外热辐射，降低夏季空调制冷能耗10-15%。光伏能源协同，屋顶光伏优先供给照明负载（如常州项目光伏供电占比7.2%），实现清洁能源高效利用。自适应调节与维护增效，智能策略降冗余，无线分控系统实现单灯独立启闭，避免整区照明无效开启；远程平台监控异常耗电设备，自动报警并生成节能诊断报告。长寿命减少运维，LED寿命达5万小时，维修频次降低80%，结合预测性维护进一步压缩人力成本。

3. 灯光布局优化方法及能效提升效果

布局优化核心方法，三级布光体系，功能照明：主光源覆盖核心活动区（如客厅茶几上方射灯），确保基础照度达标；氛围照明：通过低位灯带、台灯创造层次光影，减少高位光源压迫感，提升空间纵深感；重点照明：射灯聚焦装饰品或墙面，显色指数>95的灯具增强色彩还原度，减少整体照明依赖。动态光环境设计，自然光协同：窗边区域安装照度传感器，联动灯具自动补光至设定值（如办公区500lux）；分时分区控制：夜间公共区域亮度降至30%，人员密集时段启动全域照明，降低空置能耗。低位光源应用，踢脚线灯带、矮脚台灯制造“陌生感光效”，分散视觉焦点，优化层高感知；结合家具嵌入向下照明（如柜底灯带），替代传统顶灯照明需求。能效提升关键技术，高光效硬件升级，LED灯具（160lm/W）替换传统光源，直接降低耗电80%；

雷达感应灯具实现“人至全亮、离场微光”（如车库15W→3W）。智能策略降冗余，工位扫码联动照明，离场10秒自动关灯；无线单灯控制系统，精准关闭闲置区域灯具。

4. 维护与清洁频率对照明能效的影响

维护与清洁频率直接影响照明系统的光效稳定性与设备寿命，进而显著影响整体能效。清洁频率对光效的直接影响，光衰减控制，灯具透镜积尘会大幅降低透光率，定期清洁可维持光通量输出。例如每月清洁透镜可使光通量维持率提升28%，透光率年衰减控制在5%以内。光伏组件效能保护，太阳能路灯的光伏板积尘会导致发电量下降及温度升高，加速组件老化。灰尘较大区域需每季度清洁，雨季或污染严重地区需缩短周期，避免形成热斑效应。电气安全与热管理优化，绝缘性能维护，季度性检测线缆绝缘值（<500MΩ需更换），可使短路事故率降低76%。配电箱接头温度超过60℃时需及时处理，规避85%电气火灾风险。热效能保障，散热器翅片积尘会阻碍空气流通，降低热传导效率。工业场景中数月未清洁的散热器，实际散热能力可能仅为清洁状态的一半，需根据粉尘浓度制定每周1-2次的清洁计划。光学性能与能耗的关联性，光束校准节能投光灯角度偏差±0.5°内可将眩光值（GR）从28降至19符合国标，同时减少无效散射光造成的能源浪费。色温漂移修正，LED模组色温漂移超过±150K时需更换光引擎，避免因显色性下降导致补光需求增加，间接推高能耗。

总之，节能灯具更换通过“高光效+长寿命+智能控”三重优化，实现能源消耗与碳排放的阶梯式下降，同时提升光环境质量并降低全周期成本，是建筑及城市照明能效升级的核心路径。

参考文献

- [1] 山东兰动智能科技有限公司.一种无线实时同步检测照明功率密度系统及方法: CN201911222842.0[P].2020-04-03.
- [2] 杨柳, 张孝怡, 周晓慧, 等.昆明地区办公建筑照明节能设计与实测分析[J].建筑节能, 2020, 48(1): 40-43. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7237.2020.01.008.